



# 強力集束超音波治療におけるリアルタイム超音波モニタリングに関する研究

著者	高木 亮
号	7
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	医工博第44号
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/00097046">http://hdl.handle.net/10097/00097046</a>

氏名（本籍地）	たかぎ りょう 高木 亮
学 位 の 種 類	博 士（医工学）
学 位 記 番 号	医工博 第 44 号
学位授与年月日	平成27年 9月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研 究 科、専 攻	東北大学大学院医工学研究科（博士課程）医工学専攻
学 位 論 文 題 目	強力集束超音波治療におけるリアルタイム超音波モニタリング に関する研究
論 文 審 査 委 員	（主査）東北大学教 授 梅村 晋一郎 東北大学教 授 金井 浩 東北大学教 授 西條 芳文 東北大学准教授 吉澤 晋

## 論 文 内 容 の 要 旨

### 第1章 序論

現状の強力集束超音波（High-Intensity-Focused-Ultrasound: HIFU）治療における超音波イメージングを用いた実時間治療部位検出において、治療用超音波の撮像用超音波への混信を避けるために、治療用超音波の照射を一旦停止し、撮像用超音波を照射している。この従来検出法では、治療用超音波を照射している瞬間に治療部位で生じる変化をイメージングできず、さらに、イメージングを行うごとに治療用超音波の照射を停止するので、全治療時間が増大する。本論文の目的は、超音波信号処理を工夫することにより、撮像用超音波を照射したまま、治療用超音波ノイズのみを選択的に除去することを可能とする技術のアルゴリズム開発とその有効性の検証である。従来ノイズ除去手法との比較を行い、本手法との違いを多角的な解析により、明らかにする。

### 第2章 変調を加えない HIFU 照射における HIFU ノイズ除去

HIFU ノイズを選択的に除去する、新規の信号処理アルゴリズムを提唱した。非エコー部の治療用超音波応答を参照することで、実際の治療用超音波応答を推定し、その応答を全受信超音波信号から差分する新規のアルゴリズムである。本手法を通常の HIFU 照射および効率的な治療シーケンスであるキャビテーション援用 HIFU 照射に適用し、有効に HIFU ノイズのみが除去されていることを確認した。本研究によって、HIFU を照射したまま、治療用超音波ノイズを効果的に除去し、従来のノイズ除去手法よりも質的に異なる有効な手段であることが示された。

### 第3章 変調を加えた HIFU 照射における HIFU ノイズ除去

近年注目を集めている位相変調 HIFU 照射時にも適用できる、治療用超音波ノイズ除去技術を提唱して、その有効性の検討および議論を行った。位相変調の周期性に着目し、ある時相に治療用超音波の応答を取得し、次の変調周期の同じ時相に診断用・治療用超音波の応答を取得するという2ステップのデータ取得を行うことにより、位相変調 HIFU 照射時の治療用超音波ノイズを除去する手法を提

唱した。本手法により、効果的に治療用超音ノイズが除去されることが示された。本研究は、位相変調や振幅変調など複雑な HIFU 照射時にも、HIFU を照射したまま、治療モニタリングすることが可能であることが示された。

#### 第4章 リアルタイム治療フィードバックシステム

第2章のアルゴリズムを実際の HIFU 治療イメージングシステムに実装し、本手法の実用性、及び、新規の治療フィードバックシステムの有効性を検討した。本研究によって、本 HIFU ノイズ除去手法が実時間で実現可能な実用的なアルゴリズムであることが示された。また、その手法を適用しながら、治療領域を超音波信号処理により検出し、HIFU 照射を適宜、制御することで、効率的で、安全な HIFU 治療を行えることが示唆された。本研究によって、施術者の経験・技量に頼っている現在の HIFU 治療器の問題点を網羅した、新たな HIFU 治療システムの可能性が示された。

#### 第5章 結論

本研究では、超音波治療と治療モニタリング用超音波撮像の同時並行を可能にする新技術の開発、および、その技術を実装した新たな HIFU 治療システムを構築した。

本研究の成果により、HIFU 治療中の、今までモニタリングできなかった組織変化が可視化でき、さらに、施術者の経験・技量に依存しない、より正確で、かつ、安全な超音波ガイド HIFU 治療システムの実用可能性が示唆された。本研究により、超音波ガイド HIFU 治療における課題の一つである治療時間の大幅な短縮も期待できる。

# 論文審査結果の要旨

現状の強力集束超音波（High-Intensity-Focused-Ultrasound: HIFU）治療における超音波イメージングを用いた実時間治療部位検出において、治療用超音波の撮像用超音波への混信を避けるために、治療用超音波の照射を一旦停止し、撮像用超音波を照射している。この従来検出法では、治療用超音波を照射している瞬間に治療部位で生じる変化をイメージングできず、さらに、イメージングを行うごとに治療用超音波の照射を停止するので、全治療時間が増大する。

本論文は、超音波信号処理を工夫することにより、撮像用超音波を照射したまま、治療用超音波ノイズのみを選択的に除去することが可能とし、超音波イメージングによる高機能な監視の下での集束超音波加熱凝固（HIFU）治療の実現に向けた研究成果をまとめたものであり、全編 5 章からなる。

第 1 章は序論であり、本研究の背景、目的及び構成を述べている。

第 2 章では、通常の HIFU 照射時に、撮像用超音波を照射したまま、治療用超音波ノイズのみを選択的に除去する新規の超音波信号処理を提唱し、その有効性の検討及び議論を行っている。

本手法は、非エコー部の治療用超音波応答を参照することで、実際の治療用超音波応答を推定し、その応答を全受信超音波信号から差分する新規のアルゴリズムである。本研究によって、HIFU を照射したまま、治療用超音波ノイズを効果的に除去し、従来のノイズ除去手法よりも質的に異なる有効な手段であることが示された。本手法の研究は、HIFU 治療の治療時間短縮に繋がる重要な成果である。

第 3 章では、近年注目を集めている位相変調 HIFU 照射時にも適用できる、治療用超音波ノイズ除去技術を提唱して、その有効性の検討および議論を行っている。位相変調の周期性に着目し、ある時相に治療用超音波の応答を取得し、次の変調周期の同じ時相に診断用・治療用超音波の応答を取得するという 2 ステップのデータ取得を行うことにより、位相変調 HIFU 照射時の治療用超音波ノイズを除去している。本手法により、効果的に治療用超音波ノイズが除去されることが示された。本研究は、位相変調や振幅変調など複雑な HIFU 照射時にも、HIFU を照射したまま、治療モニタリングすることが可能であることを示しており、超音波による HIFU 治療モニタリング技術の発展に寄与する重要な成果である。

第 4 章では、第 2 章のアルゴリズムを実際の HIFU 治療イメージングシステムに実装し、本手法の実用性、及び、新規の治療フィードバックシステムの有効性を検討している。本研究によって、本ノイズ除去手法が実時間で実現可能な実用的なアルゴリズムであることが示された。また、その手法を適用しながら、治療領域を超音波信号処理により検出し、HIFU 照射を適宜、制御することで、効率的で、安全な HIFU 治療を行えることが示唆された。本研究によって、施術者の経験・技量に頼っている現在の HIFU 治療器の問題点を網羅した、新たな HIFU 治療システムの可能性が示された。本治療システムの研究は、今後の、より高度で安全な HIFU 治療の発展に寄与する重要な成果である。

第 5 章は結論である。

以上要するに本論文は、超音波による強力集束超音波（HIFU）治療イメージングにおいて、撮像用超音波を照射したまま、治療用超音波ノイズのみを選択的に除去することが可能であることを示したものであり、医工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（医工学）の学位論文として合格と認める。